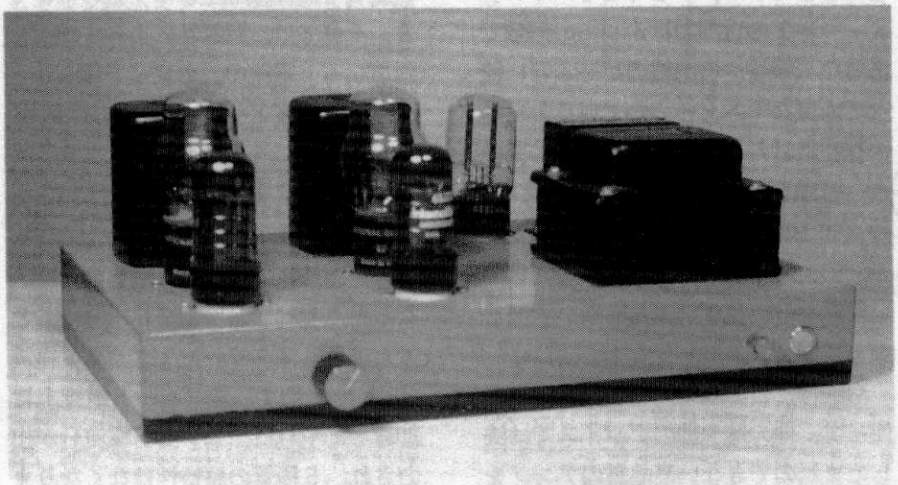
新回路出現！

スクリーン電流を出力に合成して ひずみ率を激減させる

"スーパー5極管"アンプの設計(1)

藤井秀夫

無帰還で最大出力時0.1%ひずみを実現



●スクリーン電流合成実験に用いた42シングル・ステレオ・アンプ

◆

もう何千人，何万人というマニアが5極管の特性曲線を何回となく眺めていたに違いないのに，このことに気づいた人はいなかった(?!)スクリーン電流を合成したらという，少なくともアイディアさえ寡聞にして耳にしたことはありません．筆者もいわれるとおり，5極管でこそ実現できるという点がユニークであり，かつその効果はまことに劇的です．今回発表のものはまだ原理説明的なものですが，次回にはさらに洗練された実用回路が発表される予定です．乞ご期待！　(編)

◆

はじめに——オーディオはエレクトロニクス技術の原点

思い切り奔放な実験的試みを紹介しましょう．相手は真空管パワー・アンプです．実験だからといって，非実用的な遊びではありません．私の常用アンプに採用し，1年以上これで音楽を流し続けて来たものです．真空管という電子ビーム装置の特徴を現代的回路技術によって最大限に引き出し，真空管でしか実現できないアンプを創ろう，という主旨の下に実行した試みの一つです．目標は無帰還無ひずみアンプです．

管球アンプ愛好党の皆さんには，まだ挨拶をしておりませんでしたので，改めて私の管球アンプに対する思いを述べ，自己紹介に代えたいと思います．

私は技術者としてはアナログ回路屋に属するのですが，この分野で仕事をする誰もがそうであるように，数年前からデジタルの仕事が半分を占め，DSPなるものが登場して以来，何カ月にもわたってCPUボードと取っ組むこともざらになってしまいました．

いま，作業机のかたわらに真空管アンプを置き，時折そのまったく異質な文明の産物であるかのような重厚な姿を眺め，個性的な姿態と存在感に今さらながら心打たれます．これに灯がともり，おもむろにスピーカから音が出始めると，もうそれだけでバッハもマイルス・デイヴィスも美しく聴こえてしまいます．

私は，特に気に入っている奏者の曲はLPと管球アンプでしか聴きません．息せき切る前進と，深淵の探究に明け暮れたモダニズム期の黒くて赤い熱気，その後の洗練と軽妙への移行のはざまに登場した不安でアンバランスな響き——ブッカー・リトルの都会的な頽廃の底から，これが最後と流れてくる止めどもない叙情——，これらがあの素気ないCDや石のアンプからは聴こえてこないのです．

これは幻惑なのでしょうか．形と音とに何の関係もないことではありませんか．いな，私にはこの時代の技術者の思い入れが機能美に反映しているのだと思われてなりません．技術者たちがその情熱を増幅素子の外観にまで及ぼすことのできた時代，それこそエレクトロニクスの目もくらむような全盛期だったのだという気がします．

CPUにもメモリーにもそれなりの感慨深いエピソードがあり，武勇伝もあります．しかし8080や2708が机の

が完全に働けば，I_{sg}とI_mとI_{so}とがすべて等しくなり，目的が達せられます．R_1を200～500Ω程度に控えておけば，スクリーン電圧の定電圧性は実用上十分に保たれます．

カレント・ミラー回路に使うトランジスタにはバイポーラを採用すれば，わざわざペアを揃えるまでもないでしょう．MOS-FETも使用可能ですが，ペア・トランジスタの特性バランスへの要求が厳しくなります（第5図）．

4．シングル・アンプでの実験

(1) I_{sg}合成シングル・アンプの製作

まずシングル・アンプでの予備実験から始めましょう．3種の5極管を試してみました．直熱管47と最もありふれた5極管42，往年のオーディオ管のプリンセスEL 34です．この内47は，外形も2A3と同じ大きさを持ち，電極のつくりも立派なものですが，残念ながら出力はあまり大きく採れません．42や6F6と同等規格とみなしてよいでしょう．

なお，47はタングソルのもの，42は手持ちのマツダ，JRCなど新しく購入したナショナルエレクトロの球，EL 34は松下製とジーメンス製を使用してみました．

代表して42アンプの回路図を第6図に示します．他のアンプも電源電圧の若干の相異と，自己バイアス用カソード抵抗および負荷インピーダンス値を除き，大差ありません(なお，この42アンプは反転シングルNFBアンプの実験に用いたものと同じものです)．

注意点を以下に列挙します．

① 第4図の基本的カレント・ミラー回路からアレンジして，2段目をカスコードとしています．出力インピーダンスを上げ，負荷効果をできるだけ避けるためです．プレート出力点の電圧が大幅にスウィングするため，電流ミラー動作のためにも，必要と判断したものです．

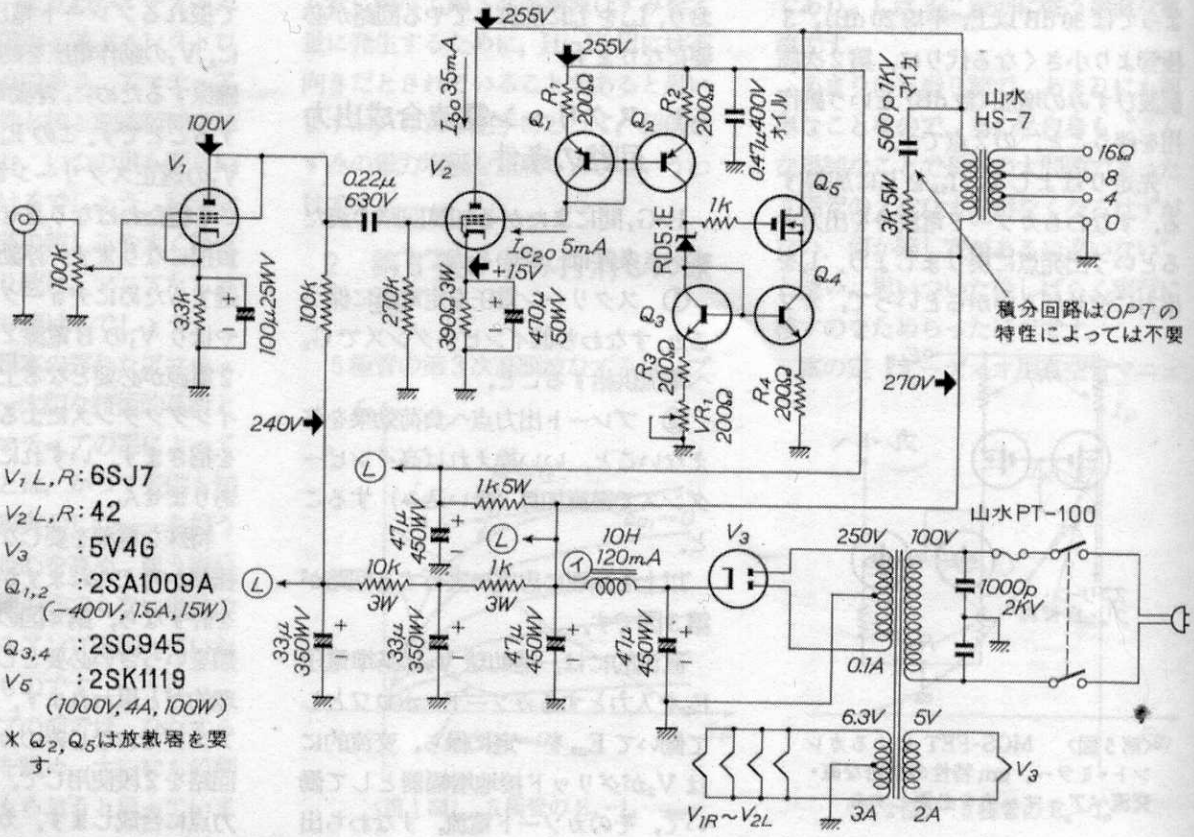
② プレートに接続する最終出力点のみMOS-FETを採用しましたが，これは特性上から練り上げたものではなく，熱暴走に強いという安全上の理由からです．バイポーラでも同様の回路で使用できますし，飽和電圧の小さいものであれば，真空管を採用しても構いません．各人の好みに従えばよいわけですが，スピーカとの接続忘れなど不測の事態の際，思わぬ大電流が流れる危険があるということだけは留意してください．

半導体の場合，小型の放熱器(マッチ箱の半分程度のもので，1年間無事故を通しました）に取り付けて，これをシャーシから絶縁します．電力損失，耐圧（合成端はE_bの倍以上）とも十分ゆとりのある素子を使用してください．

③ 使用したOPTがかならずしも各球にとって最適のものではありません．47アンプに使ったのはタンゴ製H5S(5kΩ)で，最適負荷値7kΩに対しやや低めです．特にEL 34の最適負荷抵抗が2～3kΩなのに対し，H5Sしか手元になかったので，2次側16Ω端子に8Ω負荷をつなぎ，2.5kΩインピーダンスとして実験しました．やはり損失が増したせいか，最大出力が電力にして規格表の半分くらいしか得られませんでした．

(2) I_{sg}合成の成果

以上3種の実験アンプについて，それぞれ単純にI_{sg}をI_pに加算した場合（回路図$VR_1=0$）の高調波ひずみ率デ



〈第6図〉
スクリーン電流を合成して出力に取り出す“スーパー5極管接続”による42シングル・ステレオ・アンプ（右chのみ）の全回路図

V_1 L, R : 6SJ7
V_2 L, R : 42
V_3 : 5V4G
$Q_{1,2}$: 2SA1009A (−400V, 1.5A, 15W)
$Q_{3,4}$: 2SC945
V_5 : 2SK1119 (1000V, 4A, 100W)
＊Q_2, Q_5は放熱器を要す．

み率の激減を期待できます．PP合成が理屈どおり働くなら，数値データからして，最大出力付近まで0.1％近くのTHDに抑えられる計算になります．堂々と〝無ひずみ〟を謳い得るオーダーです．

5．超低ひずみ5極管PPアンプ

(1) I_{sg}合成PPアンプ

通常，PPアンプに対して，PP上下両球それぞれに第4図のI_{sg}加算回路を用意すれば，それで製作完了となるわけですが，基本的注意事項と，シングル・アンプの経験から得た改良点を記します．

① I_{sg}合成は2次ひずみを増す方向に働くので，PPアンプに応用する場合は，B級やAB級であっては逆効果になります．片方がカットオフする領域では2次ひずみが打消されず，PP合成出力には3次ひずみとなって現われてくるからです．かならずA級PPとする必要があります．カットオフ領域を持たなくても，バイアスの深いA級をAB級と称する用語法もあるようで，この意味でのAB級なら構いません．

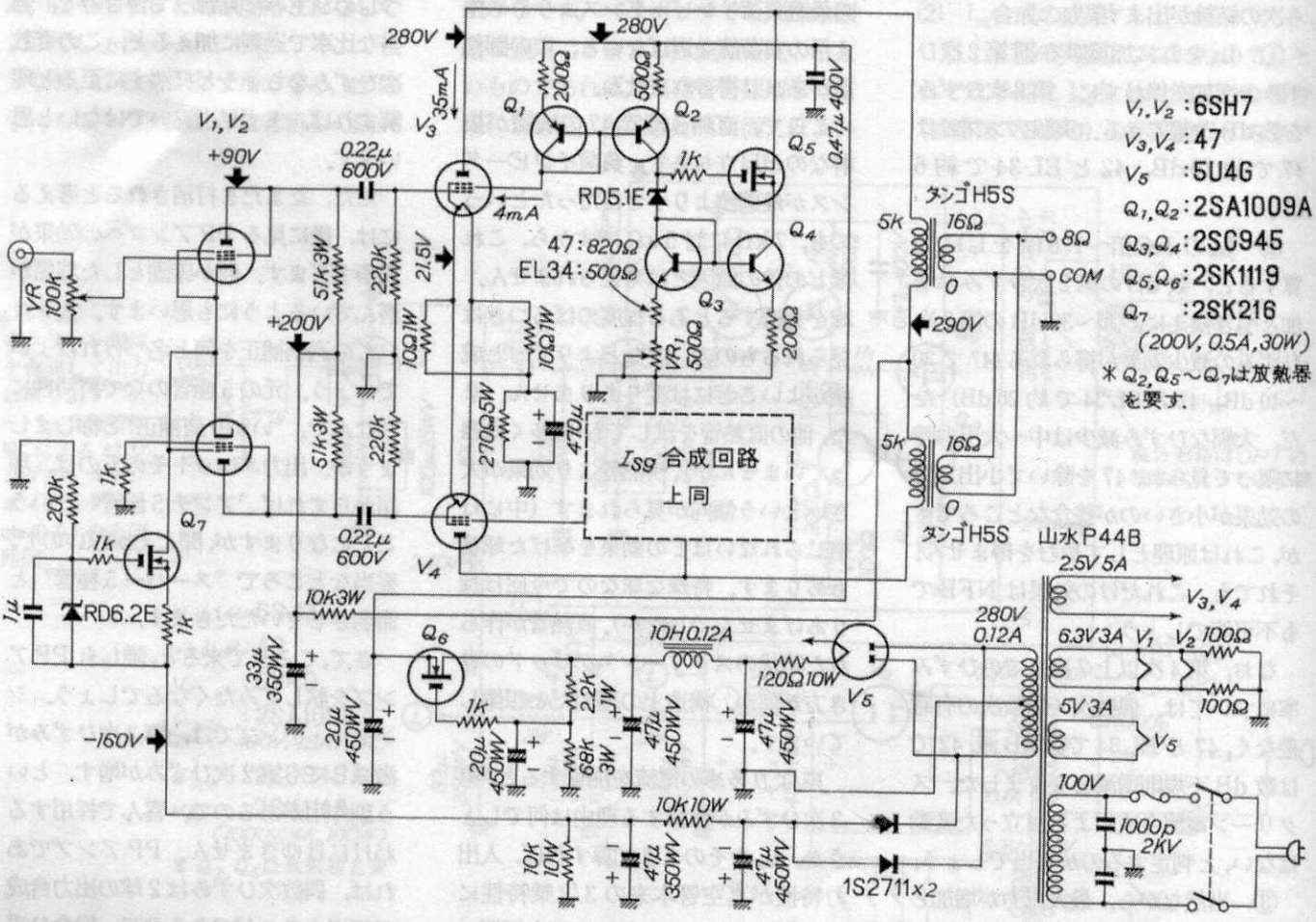
② 負荷インピーダンスを通常のA級PPの最適値よりやや小さ目にする方が効率がよい．

③ 出力が大きくなると，I_{sg}が思いのほか大量に流れるので，加算回路のパワー素子がずいぶん熱くなります．スクリーン電圧を落とし，代りにプレート電圧を高く採って，高負荷インピーダンスの動作を選ぶと，出力を落とさず，スーパー5極管特性も悪化させずに，加算回路の負担が軽くなります．

④ カレント・ミラー加算回路（第4図）において，$I_{sg}=I_m=I_{so}$とする純性カレント・ミラーにしなくても，R_1とR_2それぞれの抵抗比率を変えて，I_mをI_{sg}の1/2～1/3に減らすことが可能です．終端のI_{so}の電流純度を阻害せず，1段目のPNPトランジスタの電力負担が軽減できます．

以上を踏まえ，47とEL34アンプについて，PPアンプへの改造実験を実行しました．ただし，正式のPP用OPTを用意したのはEL34アンプだけで，47の方はシングル・ステレオ・アンプの配線変更だけで，すなわちシングル用OPTの2次側巻線を逆極性並列接続することによって（16Ω端子を並列にして8Ω端子とする）PP動作させ，成果を見ました．超低域・超高域を除き，通常の（Gmモード！）PPに完全に等価ですから，データに錯誤は出ないはずです（なお，この際に最初，無思慮にも直列接続してしまい，お化けのようなプレート出力波形を見て途方に暮れてしまったことは，いつぞや書いたことがありますμモード3極管PPの実験へ至るきっかけです）．

代表して，今度は47アンプの回路図を第10図に掲げます．本格的PPアンプとして作ったEL34の方を紹介したいところですが，こちらはもっ



〈第10図〉スクリーン電流合成47 ppモノーラル・アンプの全回路図

と製作が容易で，かつ内容的にもおもしろいスーパー5極管アンプへ発展させたので，次号でくわしく説明させていただきます．

製作および調整上の注意点を記します．

① スクリーン電源電圧の調整は，リプル・フィルタを兼ねて，MOS・FETによる簡単なレギュレータによって行っています．ただし47は，E_{c2}を下げるとやはり出力が大幅ダウンするので，ほとんどE_bと変わらない電圧になっています．EL34の方はE_bに対してE_{c2}をぐっと下げ，対応してR_Lを8kΩと大きくしています（シングル換算4kΩ）．

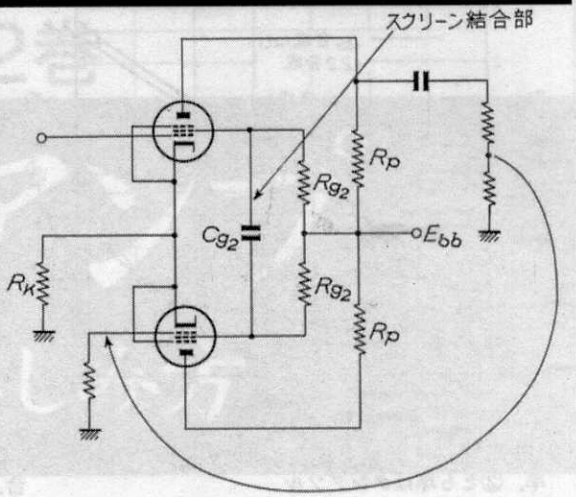
なお半導体によるレギュレータは手軽で効果的なリプル・フィルタとして働いてくれますが，調整時のショート事故があれば一瞬に昇天するので，くれぐれも用心してください．

② 47アンプの方は，実験ということで，定格ぎりぎりの動作となっています．実用に供するには，E_bを少し控えた方がよかろうと思います．

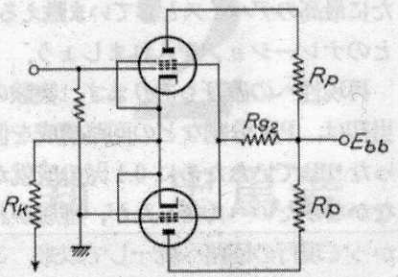
③ 位相反転は，初段を差動アンプとすることによって行っています．負電源を要するので，一般の実用アンプにはあまりお推めできませんが，オートバランス回路やPK分割回路に較べて，含有ひずみの絶対量が小さいうえ，2次ひずみが上下同相となって平衡度も高いので，今回のように出力部のひずみが小さいアンプには――少なくとも特性試験上――不可欠です．PK分割回路などにすると，出力部のひずみが増幅段のひずみで隠されてしまいます．

カソードに入れたFETによる定電流回路も，平衡度をほぼ完璧に保ってくれる上に，ヒータ・ハムも低減してくれ，製作の面倒さをおして採用する利点があります．

6SH7の3結では増幅度が物足りないという場合は，第11，12図のように，クォード・アンプに使用されていたスクリーン結合法を採用すればよいでしょう．5極管接続となってゲインが上がるうえ（上がり過ぎるので6SJ7に変えるべきか），G_2の結合で位相反転能力がさらに強化されます．



▶〈第12図〉
クォードIIの位相反転回路の概略図．C_{g2}は一般には不要．出力から矢印のループをつくると正帰還となり中域ゲインを高められる



▼〈第11図〉
5極管のスクリーン電流にバイパス・コンをつけないと駆動能力をもつ

もっとも，ひずみ率特性が少し劣化するのは避けられないようです．特性を重視するなら，3極管の平衡増幅段を追加すべきです．

クォード原回路では交流的にのみスクリーン結合されていますが，私の経験ではわざわざ部品点数を増して直流的に分離する必要性はありません．また，原回路にあるグリッドへの反転入力の注入は，差動アンプで実行すると純然たる正帰還として働くので注意してください．クォード・アンプでも意図されていたと思われるポジネガ・フィードバックはそれなりに興味深い技法ですが，十分注意して使わないと火傷をします．

④ スクリーン電流合成部の調整について．1ケタ以上のひずみ低減を達成するには，どうしてもひずみ率計が要ります．ひずみ率計がない場合，2個所の調整ボリュームVR_1をほぼ半回転の状態に置いてください．ひずみ率計があれば，最大出力に対して電圧値で70％（電力で1/2）の出力状態にしたうえで，まずPPの片方のボリュームを半回転の位置にし，次にもう一方のボリュームでひずみ最小のポイントを捜します．これが終れば最初のボリュームをどちらかへ少し回し――ひずみがいったん増します――，もう一度他方のボリュームでひずみ最小にします．以上で，最小ひずみがさらに減れば同一方向へ，増してしまえば反対方向へ，同じ操作を繰返します．

要するにいたちごっこですが，少々の根気を発揮すれば，やがてドキッとするほどひずみが減少し始め，測定器のレンジを1ケタは切換えなければならなくなるでしょう．

なお，最大出力状態でこれを行うと，当然大出力時の特性はより向上しますが，小出力時のひずみ率がかえって悪化してしまいます．

(2) スーパー5極管PPアンプの特性

さあ，成果はどうでしょう．

実のところ，頭では超低ひずみアンプになるはずと確信しながら，ひずみ試験を行うこの時点まで，製作している本人が半信半疑の状態でした．調整ボリュームを回し，いよいよ打消し点へ至ったところでひずみ率計の針が一気に左一杯へ振れるのを見て，仰天してしまいました．

人間の観念の予測をはるかに超えた現実の奥深さや妙技を目のあたりにした時の感動もいい知れぬものですが，頭の中の一行の式に基く理屈上の予測が，現実の中でそのとおり実行されるのを見る時の感激もまたひとしおで